

Estudio de laminaciones

Por **Germán Gasillón, Darío Grenada, Matías Cardacce** (YPF S.A. - Integridad Logística)

Una descripción de las discontinuidades planares a partir de una inspección interna con herramienta de ultrasonido recto y la detección de anomalías.

En 2011, YPF Logística realizó la primera inspección interna con la herramienta instrumentada de ultrasonido recto (UT). Con la información relevada por esta herramienta se detectaron diversos tipos de anomalías, que hasta el momento no habían sido dimensionadas con esta técnica de inspección, entre ellas se observaron un gran número de discontinuidades

planares (llamadas normalmente e internamente laminaciones).

Estas laminaciones fueron informadas por las ILIs según 4 categorías: paralela, slope (laminación con tendencia hacia la pared interna o externa, pero sin llegar a la superficie), abierta hacia adentro y abierta hacia afuera. Estas categorías fueron objeto de estudio para interpretar la correcta

clasificación de esta herramienta instrumentada y, con los resultados validados, ponderar la criticidad de cada una de ellas con el fin de definir los planes de mantenimiento e inspección de todo el sistema de ductos administrados por YPF logística.

Los principales hitos de este estudio fueron la investigación minuciosa de antecedentes, el reanálisis de datos de inspección interna, las verificaciones de campo y el análisis de falla de probetas retiradas con monturas.

En este trabajo se exponen los resultados y las conclusiones de cuatro años de trabajo referente al tema desde los primeros resultados de la ILI, donde se refleja claramente que la herramienta de ultrasonido recto dimensiona con un alto grado de preci-



sión las anomalías tipo laminaciones, lo que permite diferenciar claramente entre laminaciones paralelas del resto de las orientaciones.

Para definir los planes de reparación, se concluye que las laminaciones que no son paralelas (escamas, como se define en el transcurso de este trabajo) deben ser analizadas minuciosamente e intervenidas según sus dimensiones (principalmente el espesor remanente de las mismas). Algún criterio de reparabilidad consiste en determinar un cálculo de presión de falla, considerando el defecto como una anomalía de pérdida de metal volumétrica.

Luego de los estudios realizados no se encontraron evidencias de que una laminación paralela varíe su geome-

tría con el tiempo, son consideradas como discontinuidades estacionarias.

Antecedentes

En 2009, sobre un oleoducto de 32" administrado por YPF S.A., se rea-

lizo una inspección con MFL Axial. El resultado de esta inspección informó como reparables numerosos defectos. Luego, una vez en campo al realizar las reparaciones planificadas, se halló que el número de defectos reparables fue muy superior al informado en la ILI. Esto se encontró en cañerías que



Figura 1. Corrosión externa debido al apantallamiento de revestimientos de cintas.

presentaban principalmente un efecto de apantallamiento por los revestimientos de cintas, debajo del cual se encuentra una velocidad de corrosión no controlada, independientemente de la protección catódica existente en la instalación (Figura 1).

Introducción

La finalidad de la primera inspección mediante una herramienta interna ultrasónica en un ducto API 5L X52 de 32" y t = 6.35 mm con una MOP de 40 kg/cm², puesto en servicio en 1973, fue detectar y dimensionar con precisión el fenómeno de corrosión externa que se estimaba. Pudo ser subdimensionado por el alto grado de pérdida de metal existente, en particular bajo los revestimientos de cintas.

Luego de la inspección en cuestión se informaron importantes hallazgos, entre ellos el esperado de corrosión externa avanzada por apantallamiento catódico. Además, se encontró un importante grado de corrosión interna (que se estudió en forma paralela) y un alto número de defectos de laminaciones.

Si bien se conocía la capacidad de detección de esta técnica de inspección respecto de las laminaciones, no se esperaba un informe con las cantidades detalladas en el cuadro 1.

Como se puede observar en el cuadro 1, si el total de las laminaciones informadas hubiesen representado una amenaza para los activos, el problema era de gran magnitud. En consecuencia, se decide comenzar con el estudio de este tipo de anomalías con el fin de interpretar el fenómeno que provocó el origen de estas laminaciones.

Revisando la bibliografía referente al tema, en el trabajo expuesto en el congreso internacional de ductos de Mérida en 2001, se menciona que hasta esa fecha, las laminaciones no han afectado la integridad de las tuberías siempre que las anomalías se

Tramo	Odométrica [m]	Posición horaria	Long. [mm]	Ancho [mm]	Comentario	Esp.de ref. [mm]	Clase	Esp rem. [mm]
Tramo 1	12143,62	11:37	209	80	continua	6,93	OPEN-INT	4,53
Tramo 1	12242,81	08:31	88	104	continua	6,63	OPEN-INT	4,5
Tramo 1	28087,87	01:49	525	207	continua	6,63	SLOPE	6,63
Tramo 1	28230,92	02:59	117	80	continua	6,57	OPEN-INT	4,38
Tramo 1	45863,15	01:45	58	40	continua	6,63	OPEN-INT	4,26
Tramo 2	3034,9	02:02	95	72	continua	6,51	OPEN-INT	4,38
Tramo 2	12110,79	01:25	63	40	continua	6,57	OPEN-INT	4
Tramo 2	53204,05	11:06	246	160	intermitente	6,45	OPEN-EXT	4,5
Tramo 2	62658,46	12:28	267	88	continua	6,57	OPEN-INT	4,14
Tramo 2	74294,27	11:40	243	48	intermitente	6,57	OPEN-INT	3,97
Tramo 3	132387,83	04:57	281	160	continua	6,63	SLOPE	6,63
Tramo 4	63998,58	09:46	48	32	continua	6,51	OPEN-INT	4,5

Cuadro 2. Totalidad de anomalías no paralelas informadas por la ILLI.

encuentren contenidas en la pared y sean paralelas a la superficie de la tubería1. No obstante, en la API 5L especificación para tubería de línea2 se establece que cualquier laminación cuya menor dimensión es mayor a 19 mm y una superficie superior a 7742 mm² es inaceptable.

En la API 579 (Parte 13)³ se establece que las laminaciones que son paralelas a la superficie pueden no ser objetables si el componente es sometido únicamente a tensiones de membrana de tracción a partir de la presión interna, y las laminaciones están alejadas de discontinuidades estructurales donde se producen tensiones de flexión local.

Para las laminaciones que no son paralelas a la superficie del tubo (que más adelante llamaremos escamas), API579 recomienda que los defectos sean evaluados como cracks, aunque teniendo en cuenta las dimensiones y los emplazamientos de los defectos encontrados en este ducto, los concentradores de tensiones se asemejan a los considerados en defectos volumétricos.

Claramente con los criterios modernos de fabricación de tuberías bajo estándares vigentes, este tipo de anomalías no debieran encontrarse en los ductos, sin embargo, en cañerías con más de 40 años y con las exigencias en aumentos de transporte, debemos hacer un análisis de la existencia de este tipo de anomalías.

Con lo expuesto, las laminaciones paralelas no representarían una amenaza para los activos siempre que realmente sean paralelas, esto es validando los informes de las diferentes inspecciones internas e interpretando si una laminación informada como paralela es realmente de este tipo o puede ser slope o abierta hacia adentro o hacia afuera y, entonces, representar una amenaza.

Este trabajo se basó en estas premisas, por lo que el fundamento de las acciones tomadas en torno a la investigación radica en interpretar los diferentes tipos de anomalías, entender los orígenes y tratar de comprobar si la información producto de una inspección interna es suficiente para determinar qué anomalías requieren un tratamiento y cuáles no representan una amenaza.

Desarrollo

Verificaciones de campo

El plan de trabajo se basó en la verificación de campo del total de las anomalías no paralelas (12) y una muestra spot del total de anomalías paralelas.

Estas verificaciones fueron realizadas con mediciones de ultrasonido recto, en modo scan B para determinar los perfiles y valores de las profundidades. Con un palpador de 5 Mhz la precisión en la verificación de campo pudo comprobarse que realmente es suficiente para caracterizar el defecto correctamente. En el cuadro 2 pueden observarse la totalidad de las anomalías no paralelas informadas en la inspección interna.

En las figuras 2 a 5, se pueden visualizar algunas de las anomalías no paralelas verificadas en campo. En el cuadro 2 también se puede compro-

Laminaciones	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	TOTAL
Longitud del tramo en km	49	139	250	145	583
Abiertas internas	4	4	0	1	9
Abiertas externas	0	1	0	0	1
Paralelas	117	727	897	194	1935
Slope	1	0	1	0	2
Total	122	732	898	195	1947

Cuadro 1. Laminaciones detectadas por tramo.



Figura 2. Laminación no paralela en tramo 1 abierta hacia adentro.

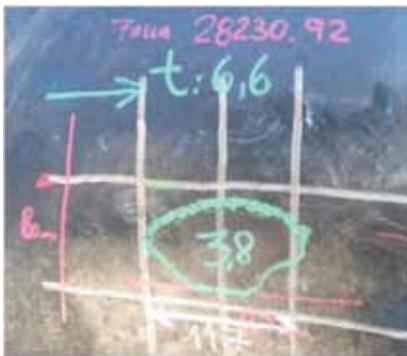


Figura 3. Laminación en tramo 1 abierta hacia adentro.

bar que la precisión del dimensionamiento proporcionado por la ILI, en la mayoría de los casos, se corresponde con lo verificado en campo. En el apartado “análisis de datos” se expone la comparativa de verificación de campo con los datos informados, en la cual se puede observar una correcta precisión en las mediciones. Las diferencias que pueden apreciarse fueron

Tramo	Odom [m]	Posición horaria	Long. [mm]	Ancho [mm]	Comentario	Esp.de ref. [mm]	Clase [mm]	Long. campo [mm]	Ancho campo
Tramo 1	2383,36	02:21	398	48	Continua	6,63	Paralela	398	48
Tramo 3	72140,05	-	634	32	Intermitente	6,57	Paralela	1500	32
Tramo 4	5976,53	11:56	48	383	Continua	6,33	Paralela	45	430

Cuadro 3. Anomalías paralelas verificadas en campo.

chequeadas y corregidas analíticamente, comprobando su correspondencia con lo verificado en campo.

Para el dimensionamiento en campo de las anomalías informadas, se efectuó una revisión exhaustiva de los extremos de las discontinuidades, es decir que se realizaron barridos continuos con equipo de ultrasonido tratando de verificar que los extremos de las anomalías realmente muestren variaciones. En la figura 6 puede apreciarse la variación en las mediciones en el extremo de una laminación abierta y como se ve el perfil mediante la utilización de scan B.

En el caso de una laminación pa-



Figura 5. Laminación en tramo 4 abierta hacia adentro.

ralela, mediante ultrasonido se verifica que los bordes sean del tipo escalón. Al efectuar la medición, el salto de espesor es abrupto, pasando del espesor nominal al espesor donde se encuentra el defecto con un pequeño movimiento del palpador, como se observa en la figura 7.

En el cuadro 3 se listan las anomalías paralelas verificadas en campo y se pueden observar las dimensiones relevadas en campo.

En las figuras 8 y 9 se exponen algunas verificaciones de campo realizadas en laminaciones paralelas. Y en el cuadro 3, además, se exponen los datos informados por la ILI y la imagen de los datos comprobados en campo. Con las verificaciones realizadas se pudo comprobar el salto abrupto en la medición de espesor que indica la finalización de la discontinuidad en la pared del ducto.

Análisis de datos

Al verificar en campo la laminación paralela del tramo 3 Odom. 72140.05 m se observaron grandes diferencias respecto de la longitud informada. Esto se analizó en conjunto con el departamento de datos de la empresa que realizó la inspección interna, y se pudo determinar que lo relevado en campo se condecía perfectamente con lo observado por la herramienta, lo informado fue la se-

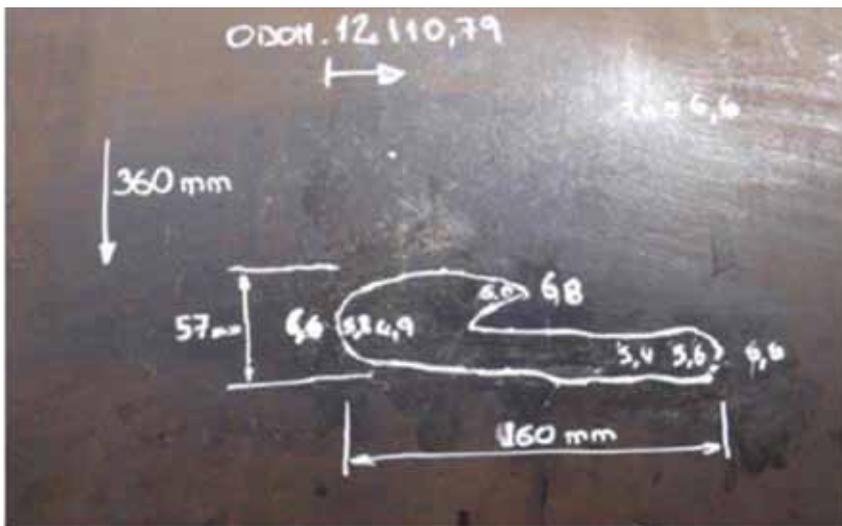


Figura 4. Laminación en tramo 2 abierta hacia adentro.



Figura 6. Caracterización de extremo de laminación con UT.

ñal más clara observada, no obstante, toda la laminación fue vista por la ILI (Figura 10).

Tres años después de la primera inspección en la que se detectaron las laminaciones existentes en el tramo 3 del ducto, se efectuó una nueva inspección con UT recto con la que se pretendía realizar un análisis de crecimiento de corrosión interna luego del hallazgo de este fenómeno en el primer UT. Aprovechando esta información se realizó una comparación directa de laminaciones donde se informaron los totales detallados en el cuadro 4.

La diferencia en los informes de



Figura 7. Caracterización del perfil de una laminación paralela con UT.

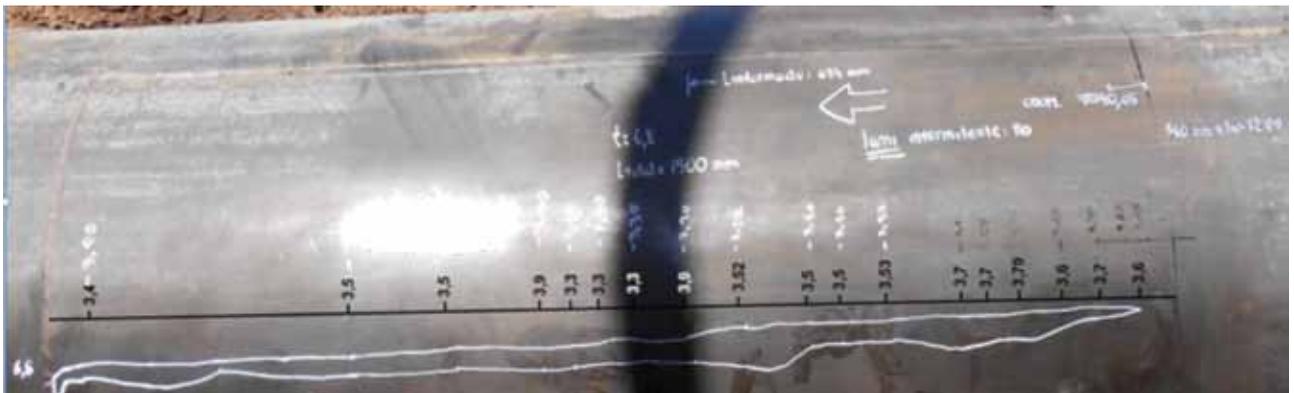


Figura 8. Tramo 3. Laminación paralela.

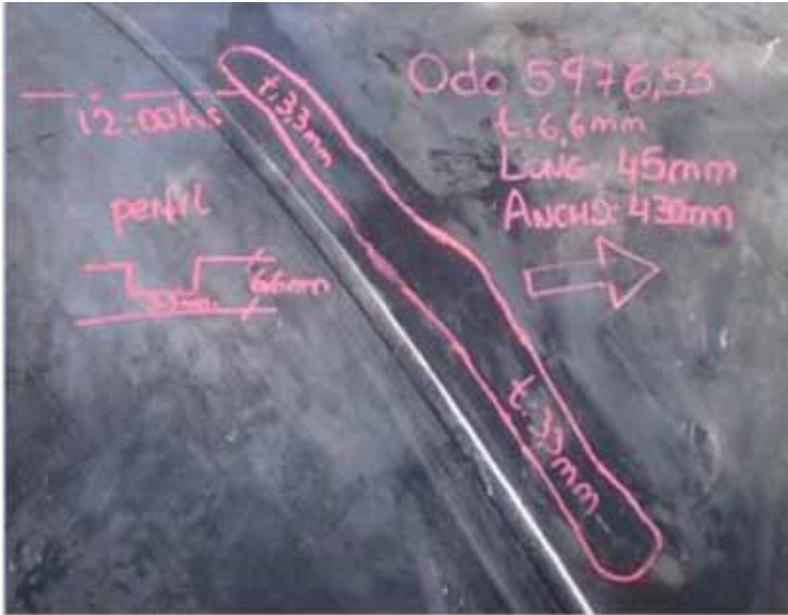


Figura 9. Tramo 4. Laminación paralela cercana a soldadura helicoidal.

las laminaciones que no son paralelas fue analizada una a una, se pudo encontrar en todos los casos las explicaciones que justifican dichas diferencias. En el Anexo que se encuentra al final puede verse un cuadro en el que se aprecia esta comparativa.

Respecto de la gran diferencia entre ambas inspecciones en lo que refiere a anomalías informadas como paralelas, son varias las razones que

provocan esta diferencia, sin embargo, no hay ninguna causa que prevalezca por sobre las otras:

- En algunos casos, al comparar entre inspecciones, se detecta que en 2011 hubo laminaciones que no fueron detectadas debido a que estas se encontraron en áreas afectadas por suciedad en la tubería.
- En algunos casos se debe al límite de informe, en 2011 muchas lami-

naciones quedaron bajo el límite acordado contractualmente para informar.

- A su vez, el punto previo tiene diferentes razones que implican que en la inspección de 2014 más laminaciones quedarán por sobre el límite de informe:
 - o Mejoras tecnológicas en la herramienta utilizada.
 - o Actualizaciones en el software de análisis.
 - o Mejora en los algoritmos de cálculo.
 - o Laminaciones muy pequeñas que dependiendo de cuántos sensores las detectas presentan una variación muy pequeña en el ancho registrado pero suficiente para estar por encima del límite de informe.
 - o Mejor pericia del analista, especialmente al tener un set de datos previos para referenciarse.

Ensayos destructivos

Para conocer el origen de los defectos, estudiar su comportamiento en el tiempo y obtener conclusiones, necesariamente hay que recurrir a ensayos destructivos. Para ello, con el ducto en servicio, se seleccionaron zonas en las que había laminaciones en la posición horaria 12.00, que estas tengan un tamaño menor al del cupón de una montura para que pueda estar contenido en el mismo (Figura 11), y que sean distintos tipos de anomalías. Finalmente se pudieron extraer 3 probetas que contenían 2 laminaciones informadas abiertas hacia adentro, y una informada como paralela. En el cuadro 5 se exponen como fueron informadas estas anomalías en la inspección interna, y en las figuras 12, 13 y 14 se observan las anomalías verificadas en campo luego de extraídas como cupón de montura.

En dos de estas tres muestras, (Odom. 60335.16 paralela y Odom. 74294.27 abierta hacia adentro) se realizaron los siguientes estudios:

- Sucesivos decapados químicos (HCl-50%) en caliente sobre la superficie de los caños y alrededor de los perímetros de las anomalías.
- Tintas penetrantes sobre las zonas luego del decapado para determinar si hay salida a la superficie de

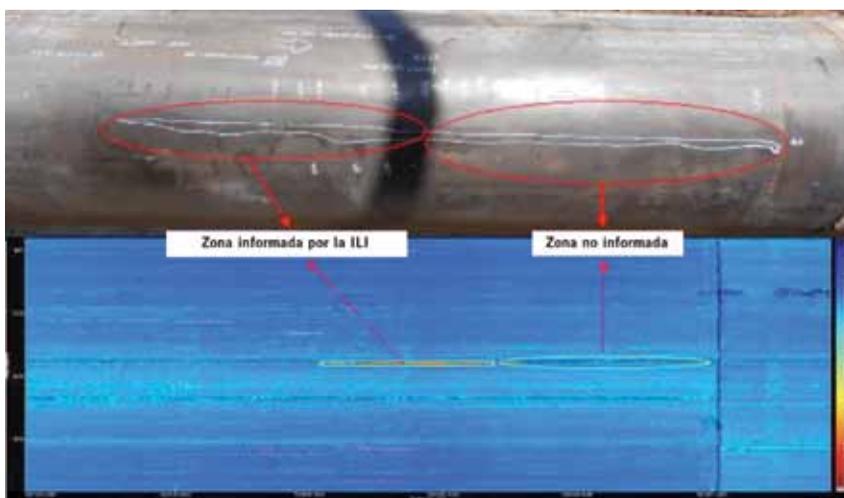


Figura 10. Comparativa de señal de ILI con verificación de campo.

	TOTALES	PARALLEL	OPEN-INT	OPEN-EXT	SLOPE
UT 2011	732	727	4	1	0
UT 2014	3091	3077	3	4	7

Cuadro 4. Cantidades informadas en ambas inspecciones.



Figura 11. Metodología de obtención de muestras.

- o Si hubo propagación (por fatiga) de las discontinuidades-defectos durante el servicio.
- o El grado de tenacidad del material con las discontinuidades-defectos.
- o Si el material está fragilizado.
- Metalografías ópticas y electrónicas de barrido en cortes longitudinales, transversales, oblicuos, etc.

Análisis de probeta con laminación abierta hacia adentro

En el ensayo visual a ojo descubierto y con macrografía se observa una escama superficial interna de gran magnitud (de aprox. 350 mm de longitud, 30 mm de ancho y espesor máximo en la zona central de 2,5 mm). Esta escama es como una elipse de eje mayor 350 mm, eje menor 30 mm y espesor variable (en el eje mayor: 0,5 mm de espesor en los extremos y 2,5 mm en el centro, en el eje menor: 0,5 mm en los extremos y 2,5 mm en el centro). Esta escama elíptica estaba adherida parcialmente a la superficie interna, con casi todo su contorno elíptico despegado de la superficie interna.

El defecto cortado longitudinalmente según el espesor, se despegó de la superficie interna del caño y esto permitió confirmar por sus características y geometría que obedece a una gran “ESCAMA” de metal originado en un defecto del lingote original del acero (un defecto de colada del lingote) desde el cual se laminó la chapa con la que se fabricó el caño (por la

Odométrica [m]	Informado ILI							Medido en campo	
	evento	prof. [%]	long. [mm]	ancho [mm]	Hora	t [mm]	Comentario	long. [mm] medido	ancho [mm] medido
60335,16	Laminación	-	275	32	10:57	6,51	PARALLEL	310	33
62658,46	Laminación	-	267	88	12:28	6,57	OPEN-INT	275	80
74294,27	Laminación	-	243	48	11:40	6,57	OPEN-INT	253	75

Cuadro 5. Cupones para ensayos destructivos.

- las anomalías.
- Análisis macrográficos y por microscopía electrónica de barrido analítica (SEM-EDS) de las zonas perimetrales y superficiales con indicaciones y defectos.
- Intento de apertura de las discon-

tinuidades-defectos mediante enfriamientos en nitrógeno líquido y posteriores cargas de impacto y aplicación de altas velocidades de deformación por laminación (efectuado en un laminador experimental) para determinar:

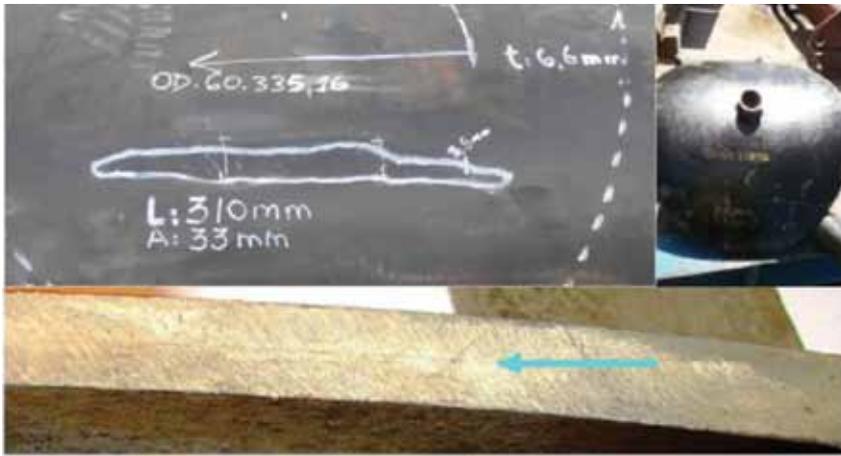


Figura 12. Cupón laminación paralela.



Figura 13. Cupón laminación abierta hacia adentro.

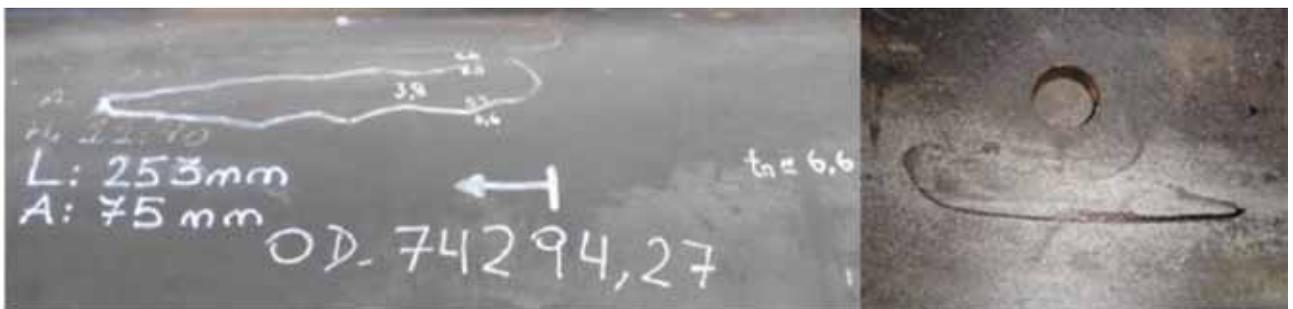


Figura 14. Cupón laminación abierta hacia adentro.



Figura 15. Cupón laminación abierta hacia adentro luego de extraída la escama.

época de fabricación, década de 1960, es un típico defecto de lingote conocido como ESCAMA: finas láminas metálicas de forma irregular adheridas al metal base superficialmente por medio de inclusiones no metálicas y/u óxidos de hierro, que se originan por el salpicado de metal sobre las paredes de las lingoteras al colar o por el uso de lingoteras inadecuadas o gastadas⁴ (Ref. IRAM IAS U500-24). En los sucesivos procesos de laminado del lingote se manifiesta bien este defecto como un gotón de metal adherido a la superficie, aplastado y estirado, que

incluso llega a desprenderse parcial o totalmente (es un gotón aplastado y estirado que queda adherido, pero sin continuidad en el nivel metalúrgico). Cabe destacar que al observar los bordes en todo el contorno de esta escama y el de la superficie a la que está adherida en el caño, se puede afirmar que esta macro discontinuidad metálica ha estado siempre allí y así, confinada y sin propagar, sin desarrollarse desde ella ninguna fisura, tampoco se desarrolló corrosión en ella o en sus inmediaciones. Solo hay una ligera decarburación en los bordes de ambas partes en un contacto apenas de 0,1 mm, que no afecta las propiedades del acero base del caño, que donde

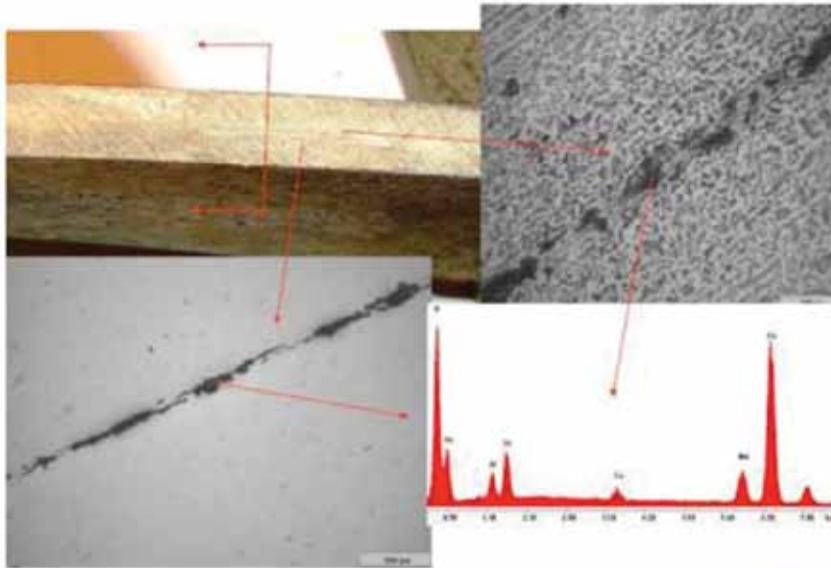


Figura 16. Probeta con laminación paralela y macrografía.

está la escama tiene reducido localmente su espesor (Figura 15).

Análisis de probeta con laminación paralela

Las discontinuidades planares denominadas laminaciones son defectos de la chapa con la que se fabricaron los caños, que tienen origen en defectos "centrales" de los lingotes con los que se fabricaron esas chapas (en la época en la que fueron fabricados estos caños no había colada continua y el acero se lingoteaba y luego se laminaban en caliente los tochos de lingote (*blooming*), en consecuencia era normal una baja calidad me-

talúrgica del acero y surgían defectos como este. Esos defectos centrales tienen origen en rechupes y segregaciones de material no metálico en el centro de los lingotes para luego, al laminarse los lingotes para conformar las chapas, determinan una chapa con discontinuidades planares en el centro del espesor (lo que se denomina "laminaciones") con material no metálico ocluido y "amasado" allí, que no permitió que se "soldara" allí el acero durante las laminaciones que tuvo hasta ser chapa.

Como se expone en la figura 16, metalográficamente se revela que hay uniones metalúrgicas discontinuas (es como una chapa doble hoja o doble

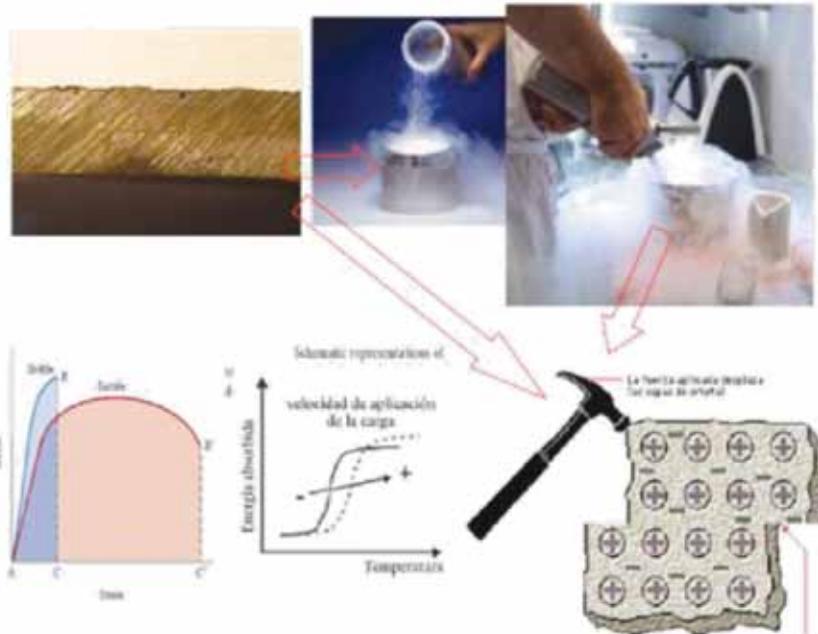


Figura 17. Esquema de ensayos realizados.

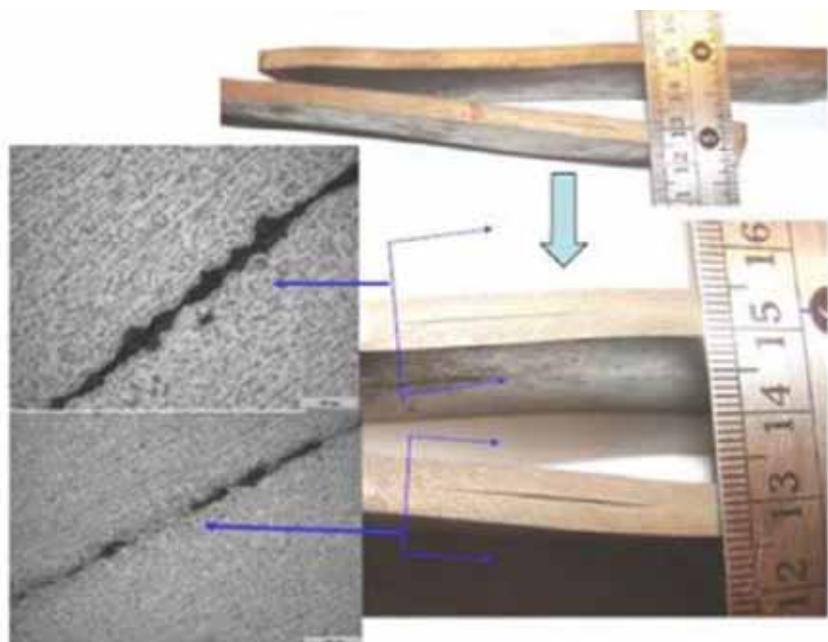


Figura 18. Macrografías de probetas sometidas al laminador.

espesor, con puntos alternados de unión metálica y de desunión con material no metálico) y que oculto dentro de la laminación hay material no metálico (óxidos de hierro y silicoaluminatos de Mn- Ca).

Estas zonas de los caños con las "laminaciones" centrales fueron cortadas en trozos de aproximadamente 200 mm x 40 mm, luego enfriados en nitrógeno líquido (para fragilizarlas inhibiendo la capacidad de deformación plástica) e inmediatamente sometidas a severas cargas de impactos para intentar abrirlas. Los resultados fueron negativos, no se pudo abrir ninguna de ellas, de lo cual se infiere que estas laminaciones o discontinuidades metálicas planares no son continuas, es decir no son estrictamente asimilables a una gran fisura planar en el centro, sino a una coalescencia de numerosas discontinuidades que conforman una discontinuidad planar discontinua sin comunicación con la superficie externa ni con la interna del caño. Esto significa que tiene regiones de continuidad metálica, agarre o puentes de unión metálica. Por lo expuesto, se infiere que esas discontinuidades planares deben haber estado siempre así confinadas en el interior del espesor, desde que el caño entró en servicio, sin que se modificaran durante el funcionamiento

del ducto, o sea sin que se dieran nucleaciones y propagaciones de fisuras desde las mismas, pues se considera que si hubiera habido alguna fisura, en este ensayo se tendría que haber propagado frágil y haberse abierto al medio en dos hojas la chapa del caño (Figura 17).

A otros trozos similares con el defecto de laminación central se los sometió a laminaciones en un laminador de chapas reduciendo sus espesores, (se destaca que esta laminación impone un muy severo estado triaxial tensional alrededor del defecto central y con una alta velocidad de deformación; todas condiciones que comprometen intensamente la tenacidad del acero con el defecto central), observándose que si bien se produjeron incipientes y parciales despegues de las laminaciones a la manera de una doble hoja o espesor doble, pero sin que se desarrollaran o propagaran fisuras hacia el acero base del caño, en otras palabras, el trozo de caño con la laminación se deformó plásticamente muy bien "sin enterarse prácticamente del defecto central". Esto permite confirmar lo que inferimos anteriormente en cuanto a que la discontinuidad está confinada en la mitad del espesor y sin fisuras que salgan de ella.

En la figura 18 se pueden apreciar las macrografías realizadas a dos de

los trozos con laminaciones que fueron objeto de deformación con alta velocidad de aplicación de la carga por reducción de espesor mediante el laminador de chapas. Estas laminaciones apenas se abrieron y se despegaron por la severa deformación; los trozos en su conjunto tuvieron buena plasticidad sin desarrollo de fisuras desde las laminaciones.

Conclusiones

De los estudios realizados, podemos clasificar a las laminaciones en dos grandes grupos debido al origen de la anomalía:

- Las laminaciones **paralelas** tienen su origen en rechupes y segregaciones de material no metálico en el centro de los lingotes, que al laminarse los lingotes para conformar las chapas, determinan una chapa con discontinuidades planares en el centro del espesor. Por los estudios realizados no pudo encontrarse evidencia de que este tipo de anomalía se haya propagado con el tiempo, de manera que se los estima como estables en las condiciones normales de servicio, donde las tensiones aplicadas pueden considerarse de membrana.
- Las laminaciones tipo **escamas** tienen su origen durante la fabricación en los sucesivos procesos de colada de los lingotes en los que se manifiesta bien este defecto como un gotón de metal adherido a la superficie, aplastado y estirado en el proceso de laminación posterior; que incluso llega a desprenderse parcial o totalmente, debido a no contar con continuidad a nivel metalúrgico. Pudo observarse que este defecto estuvo siempre en el ducto y con la misma morfología.

Luego de dos inspecciones con la herramienta instrumentada de ultrasonido recto en el mismo tramo, pudo observarse que la diferenciación entre laminaciones paralelas y laminaciones abiertas hacia adentro, abiertas hacia fuera y *slope* (escamas) puede ser apreciada claramente con esta tecnología de inspección teniendo en cuenta las limitaciones del método. La rigurosidad en esta clasificac-

Informado en UT2014		Informado en UT2011		Comentarios del Analista UT		
Odom. (m)	Comentario	Odom. (m)	Comentario	Comentario sobre lo informado en 2014	Comentario sobre lo informado en reportado en 2011	Conclusión
4174.04	SLOPE	4174.1	Paralela	Se informa como <i>stepwise</i> . La laminación está localizada en varias capas del acero, solapándose parcialmente. No se trata de una sola laminación inclinada.	Informada como paralela, aunque es <i>stepwise</i> .	No hubo cambios, mal informada en 2011
7189.09	SLOPE	7189.09	Paralela	Indicación informada como <i>stepwise</i> . La laminación está localizada en varias capas del acero, solapándose parcialmente. No se trata de una sola laminación inclinada.	Informada como paralela, aunque es <i>stepwise</i> .	No hubo cambios, mal informada en 2011.
18135.87	OPEN-INT		No informado		Indicación visible, localizada en una zona con mucho ruido. Debido a esto, no fue detectada durante la evaluación.	Indicación claramente visible en corrida 2014, y en base a esto es posible identificarla en la corrida 2011. No hubo cambios en la indicación.
50576.17	OPEN-INT		No informado		Los datos de esta sección están corruptos, no se pudo efectuar la comparación.	
73293.54	SLOPE	73294.38	Paralela	Indicación informada como <i>stepwise</i> , aunque es paralela.	Informada OK como paralela.	No hubo cambios, mal informada en 2014.
85673.45	SLOPE	85673.18	No informado	Informada como <i>sloping</i> , aunque está localizada bajo una reparación. Desfase entre referencias y datos.		Indicación localizada bajo una reparación, mal categorizada en 2014. Indicación reparada.
94521.99	OPEN-EXT		No informado		Indicación visible en los datos, pero con solo un canal de ancho, debajo de los límites de informe.	No hubo cambios.
107508.9	OPEN-EXT		No informado		Indicación visible en los datos, pero con solo un canal de ancho, debajo de los límites de informe.	No hubo cambios.

ción debe tenerse en cuenta por parte del analista de datos de la empresa que ejecuta la inspección interna, dado que es crucial para el tratamien-

to de este tipo de anomalías y las acciones derivadas de mantenimiento y seguimiento.

Este estudio no ha encontrado

evidencias de propagación de los defectos analizados, de manera que se los estima como estables en las condiciones normales de servicio. Sin em-

Informado en UT2014		Informado en UT2011		Comentarios del Analista UT		
Odom. (m)	Comentario	Odom. (m)	Comentario	Comentario sobre lo informado en 2014	Comentario sobre lo informado en reportado en 2011	Conclusión
117626.64	OPEN-EXT		No informado		Indicación visible en los datos, pero con solo un canal de ancho, debajo de los límites de informe.	No hubo cambios.
124537.99	SLOPE	124538.26	Paralela	Indicación informada como <i>stepwise</i> . La laminación está localizada en varias capas del acero, solapándose parcialmente. No se trata de una sola laminación inclinada.	Informada como paralela, aunque es <i>stepwise</i> .	No hubo cambios, mal informada en 2011.
135209.67	SLOPE		No informado		Indicación visible, localizada en una zona con mucho ruido. Debido a esto, no fue detectada durante la evaluación.	Indicación claramente visible en corrida 2014, y en base a esto es posible identificarla en la corrida 2011. No hubo cambios en la indicación.
137036.66	OPEN-INT		No informado	Informada como laminación abierta a la superficie en la pared interna, debido a ciertas características de la señal, aunque podría tratarse de suciedad / incrustaciones.	Indicación visible, con apariencia de suciedad / incrustaciones.	No hubo cambios.
137578.83	OPEN-EXT		No informado		Indicación visible en los datos, aunque en zona de pérdida de sensor.	No hubo cambios.
137624.86	SLOPE	137624.9	Paralela	Indicación informada como <i>stepwise</i> . La laminación está localizada en varias capas del acero, solapándose parcialmente. No se trata de una sola laminación inclinada.	Informada como paralela, aunque es <i>stepwise</i> . La presencia de ruido en la zona afectó la clasificación.	No hubo cambios.

bargo, para las anomalías tipo escamas en algunos casos se encontraron desprendidas parcial o totalmente de la pared del ducto, en el caso de las internas probablemente por acción del pasaje de *scrapers*. Por eso las anomalías paralelas no representan bajo estas condiciones una amenaza para la integridad de las instalaciones, en cambio las anomalías tipo escamas deben ser tratadas como fisuras según se menciona en API579 o como una pérdida de material según ASME B31G, para los casos en que esta situación sea más desfavorable.

En resumen, con la información proporcionada por una ILI con la tecnología de ultrasonido recto, se puede delinear el siguiente plan de acción para el tratamiento de este tipo de anomalías:

Anomalías paralelas: se deberá verificar la existencia de este tipo de anomalía en las zonas en las que el ducto sea sometido a tensiones adicionales (bajadas de cañería por flexión natural, curvatura para em-

palmes, deslizamientos de suelo, pendientes ascendentes o descendentes importantes, etc.) y en los casos que las anomalías necesariamente se encuentren afectadas por estos nuevos estados tensionales, deberá realizarse un análisis particular para determinar si este nuevo estado no afecta negativamente el estado de la anomalía. En los casos en las que las laminaciones paralelas no estén combinadas con otros defectos, o no se encuentren en soldaduras, es decir que se presenten en el cuerpo del ducto, ninguna acción es requerida.

Anomalías tipo escamas: cuando el espesor remanente sea inferior al 80% del espesor de pared, será verificado en campo e *in situ* analizado como un defecto volumétrico, verificando la presión de falla del defecto según ASMEB31G.

Cuando el espesor remanente sea superior al 80% del espesor de pared, ninguna acción es requerida según tratamiento para defectos volumétricos en ASMEB31G. ■

Anexo (ver tablas de las páginas 89 y 84).

Bibliografía

1. *Laminations - Origin, detection and Assessment*, Stephen Peet, Andrew Wild PII, 2001.
2. RP API5L *Specification for Line Pipe*, Forty Fifth Edition.
3. API 579-1/ASME FFS-1, Fitness-For-Service, June 2016.
4. IRAM IAS U500-24.
5. "Comportamiento de laminaciones coplanares y no coplanares en acero API 5L X52 Simuladas mediante elementos finitos". A. Servin, J. L. González y A. Morales.
6. "Diagnosis de la defectología que de forma accidental suele presentar la laminación de tubería de altas prestaciones", S. Gutiérrez de Sáiz-Solabarría.
7. ASME B31G 2012. *Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines*.